

Е. Д. Зыкова^{*}, А. А. Кашимбетова

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

^{*} katt333@yandex.ru

Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук Д. В. Лазуренко

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО- ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВЫХ СМЕСЕЙ

В данной работе были получены покрытия методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей, состоящих из Al и Ti, взятых в разных пропорциях. Была исследована структура полученных покрытий, а также проведен элементный и фазовый анализ данных покрытий. Проведены испытания на стойкость к окислению, и оценено влияние фазового состава покрытий на показатели жаростойкости.

Ключевые слова: интерметаллид, алюминиды титана, электронно-лучевая наплавка.

Е. D. Zyкова, A. A. Kashimbetova

INVESTIGATION OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF COATINGS OBTAINED BY THE METHOD OF NON-VACUUM ELECTRON BEAM CLADDING OF POWDER MIXTURES

In this work coatings were obtained by the method of non-vacuum electron beam cladding of Al–Ti powder mixtures of different ratios. The structure of the coatings was investigated, and elemental and phase analysis of these coatings was carried out. Oxidation resistance tests were carried out and the effect of the phase composition of the coatings on the heat resistance characteristics was evaluated.

Keywords: intermetallic, aluminides of titanium, electron beam surfacing.

Введение. Сплавы на основе титана имеют широкое применение в авиастроении при производстве, как корпусов, так и газотурбинных двигателей. Широкое применение титана обусловлено комплексом его свойств, среди которых следует отметить низкую плотность, высокую механическую прочность и коррозионную стойкость. Однако в условиях эксплуатации при повышенных температурах, титан активно взаимодействует с газами атмосферы, а также обладает высокой ползучестью [1]. Решением отмеченных проблем является нанесение специальных покрытий, которые способны повысить жаростойкость, износостойкость, а также снизить степень деформации материала в

условиях высокотемпературной деформации. Материалами, сочетающими такие свойства как износо- и жаростойкость, являются различного рода интерметаллиды. Однако наиболее востребованными в промышленном производстве являются интерметаллиды на основе титана и алюминия. Они сочетают в себе такие свойства, как высокая твердость, упругость, жаропрочность, стойкость к окислению и коррозии, низкая плотность, и являются в настоящее время перспективными материалами для аэрокосмической отрасли [2]. Так, например, сплавы на основе γ -TiAl предназначены для изготовления лопаток газотурбинных двигателей и способны работать при температуре до 800 °С [3].

Цель данной работы – изучение возможности формирования высококачественных покрытий на основе интерметаллидов системы Ti–Al, на заготовках из технически чистого титана, и оценка влияния фазового состава полученных покрытий на их стойкость к окислению.

Материалы и методы. Покрытия наносились на технически чистый титан, из которого были вырезаны образцы габаритных размеров: 100 x 50 x 12 мм. На заготовки наносились смеси порошков алюминия, титана и флюса, взятые в различных соотношениях. Режимы электронно-лучевой наплавки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Режимы электронно-лучевой наплавки интерметаллидных покрытий на титан и элементный состав сформированных слоев

Образец		Весовая доля элемента в исходной насыпке, г			Насыпная масса, г/см ²	Ток пучка, мА	Скорость перемещения образца, мм/с	Элементный состав покрытий, % атм	
№	Обозначение	Ti	Al	LiF (флюс)				Ti	Al
1	Ti–Al(10/35)	10	35	55	0,45	18	10	40.7	59.3
2	Ti–Al(25/25)	25	25	50				60.0	40.0
3	Ti–Al(32/20)	32	20	48				70.6	29.4
4	Ti–Al(38/15)	38	15	47				76.3	23.7
5	Ti–Al(45/10)	45	10	45				84.6	15.4
6	Ti–Al(51/5)	51	5	44				93.3	6.7

Металлографические исследования образцов были выполнены на микроскопе Carl Zeiss Axio Observer Z1m в режиме дифференциально-интерференционного контраста. Подготовка образцов осуществлялась по стандартной методике, включающей шлифовку и полировку поверхностей микрошлифов. Для проведения структурных исследований использовался растровый электронный микроскоп Carl Zeiss EVO 50 XVP. Элементный состав образцов определялся методом микрорентгеноспектрального анализа с использованием детектора X-Act (Oxford Instruments). Съемка

травленных поверхностей микрошлифов велась в режиме вторичных электронов. Фазовый анализ наплавленных слоев проводился с помощью рентгеновского дифрактометра ARL X'TRA X-ray. Съемка осуществлялась в пошаговом режиме с шагом $0,05^\circ$. Время накопления на точку составило 2 с.

Для проведения испытаний на стойкость к окислению, покрытия отрезали от материала основы; размер образцов составлял $10 \times 20 \times 0,5$ мм. Испытания проводили в лабораторной печи при 800°C в воздушной атмосфере. Общее время испытаний составило 100 часов.

Количественный анализ состава оксидных пленок проводился с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра ARL OPTIM'X (Thermo Fisher Scientific).

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты элементного анализа образцов представлены в табл. 1. Фактическая концентрация титана в покрытиях была выше, чем в исходных порошковых смесях, что связано с разбавлением поверхностных слоев материалом основы. Рентгенограммы, приведенные на рис. 1, свидетельствуют о том, что основными фазами в поверхностных слоях титановых заготовок, легированных алюминием, являются соединения на основе титана и алюминия. Это объясняется тем, что в процессе ЭЛН происходит переплавление и реакция между компонентами наплавочных смесей и материала основы.

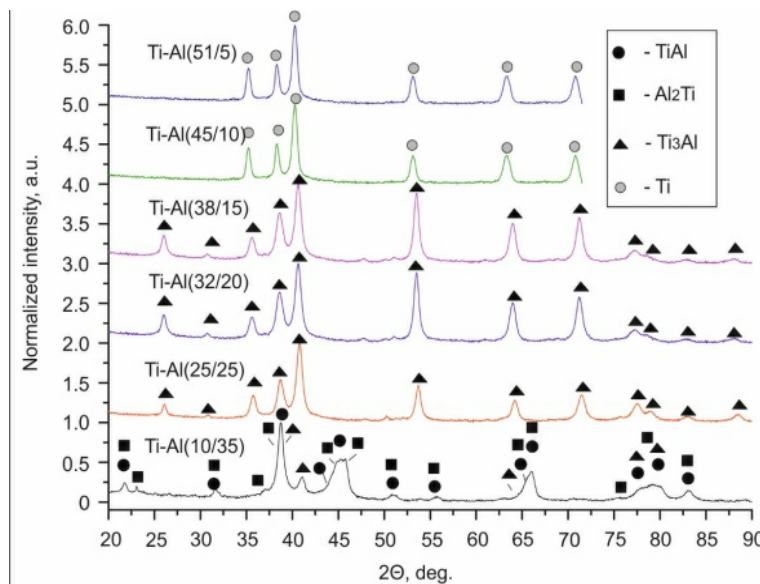


Рис. 1. Результаты рентгенофазового анализа покрытий системы Ti–Al, сформированных на титановых основах

На рис. 2 приведены результаты оптической металлографии образцов Ti–Al(10/35), Ti–Al(25/25) и Ti–Al(38–15). С уменьшением содержания алюминия в покрытии размер кристаллитов уменьшается.

Кроме того, количество трещин и дефектов в покрытиях снижается с уменьшением содержания алюминия.

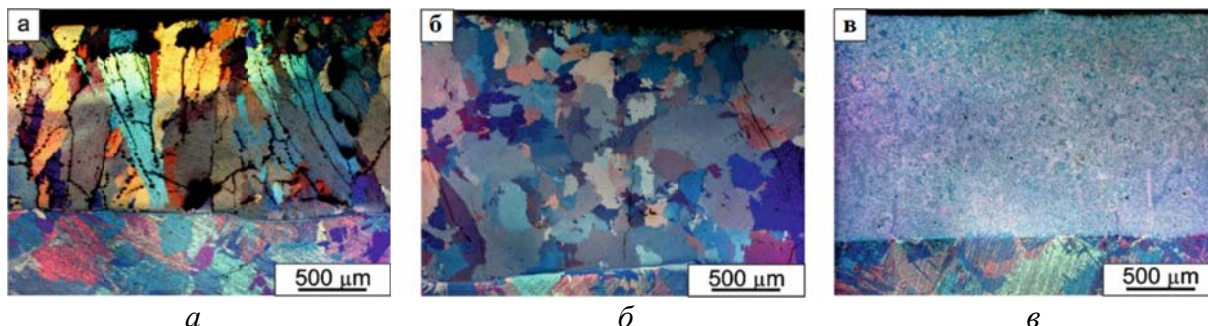


Рис. 2. Результаты оптической металлографии покрытий: *а* – Ti–Al(10/35); *б* – Ti–Al(25/25); *в* – Ti–Al(38–15). Снимки сделаны в режиме дифференциально-интерференционного контраста

Результаты испытаний на стойкость к окислению приведены на рис. 3. Все полученные покрытия обладали более высокой стойкостью к окислению по сравнению с технически чистым титаном.

Среди анализируемых материалов наилучший результат был зафиксирован для образца с наибольшим содержанием алюминия – Ti–Al(10/35); прирост массы составил 2,5 г/см². Прирост массы образца Ti–Al(45/10) был максимальным (12,48 г/см²), однако относительно титана полученное значение было в 2 раза ниже. Покрытия, содержащие в составе единственную фазу – Ti₃Al характеризовались примерно одинаковой стойкостью к окислению (в диапазоне от 7,17 до 8,66 г/см²).

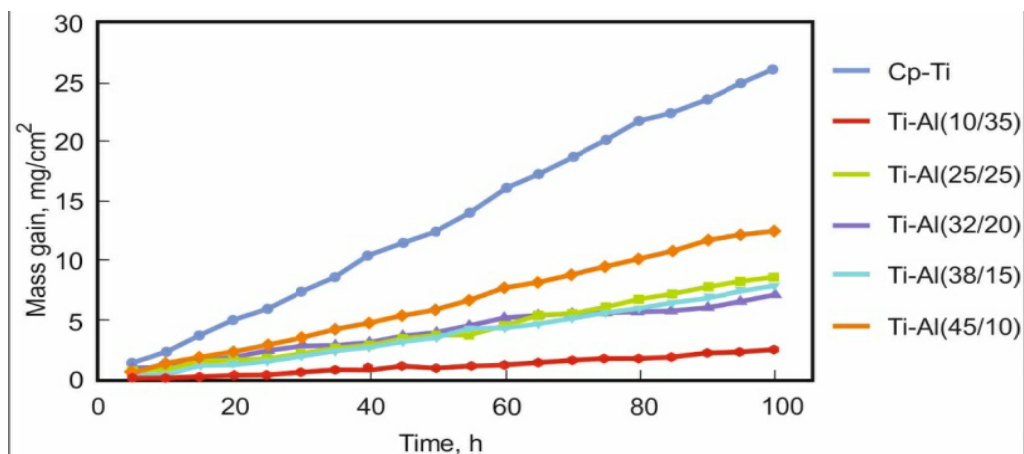


Рис. 3. Кинетика окисления образцов при 800 °С в воздушной атмосфере

Оксидная пленка, сформированная на покрытиях, состоит преимущественно из оксида титана с примесью оксида алюминия, о чем свидетельствует количественный анализ, результаты которого приведены в табл. 3. Полученные результаты согласуются с литературными данными,

свидетельствующими о том, что Al повышает жаростойкость титановых сплавов.

Таблица 3

Результаты количественного анализа состава оксидных пленок, сформированных на покрытиях в процессе окисления

Материалы	BT1-0	Ti-Al (10/35)	Ti-Al (25/25)	Ti-Al (45/10)
Al ₂ O ₃ , вес. %	4.6	21.41	18.02	14.22
TiO ₂ , вес. %	93.64	77.82	80.02	83.93
Другие, вес. %	1.76	0.77	1.96	1.85

Выводы. Вневакуумная электронно-лучевая наплавка смесей порошков алюминия и титана позволяет сформировать массивные интерметаллидные покрытия на заготовках из титановых сплавов. Фазовый состав покрытий изменяется пропорционально соотношению титана и алюминия в исходной порошковой насыпке от AlTi+Ti₃Al до твердого раствора алюминия в титане. Чем выше концентрация Al и содержания богатых алюминием фаз в наплавляемой смеси, тем выше жаростойкость полученного покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин А. А. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: справочник / А. А. Ильин, Б. А. Колачев, И. С. Полькин. Москва : ВИС-МАТИ. 2009. 520 с.
2. Sauthoff G. Intermetallics, VCH, Weinheim, 1995. 165 p.
3. Appel F. Gamma Titanium Aluminide Alloys: Science and Technology / F. Appel, J. D. H. Paul, M. Oehring // Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2011. P. 465–478.